

ANALISIS TANGGUL PELINDUNG PANTAI REKLAMASI TERHADAP GELOMBANG LAUT

oleh :

Tanjung Rahayu Raswitaningrum, ST, MT
Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta
Email : tanjungrahayu@ftumj.ac.id

Lidiya Fitriyani
Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta
Email : lidiyafitriyani@gmail.com

Abstrak : Peningkatan jumlah penduduk di suatu daerah akan membutuhkan daerah hunian yang semakin luas pula. Di sisi lain, luas tanah yang dapat dijadikan pemukiman semakin sulit diperoleh. Hal ini menjadi suatu alasan untuk menciptakan daerah hunian dengan mereklamasi daerah pantai. Suatu bangunan yang berada di daerah pantai akan terkena gelombang laut yang tidak dapat ditentukan besarnya. Gelombang air laut ini memiliki energi yang dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan tersebut. Untuk itu perlu dibangun bangunan pemecah gelombang agar energi gelombang laut yang datang menjadi lebih kecil. Selain menahan gelombang air laut, tanggul tersebut juga menahan tekanan tanah lateral akibat adanya pemukiman. Analisis yang dilakukan adalah menentukan berat batu pelindung yang diperlukan dengan metode Hudson dan menghitung stabilitas terhadap geser. Hasil analisis menunjukkan bahwa blok beton berukuran 42 cm x 42 cm x 42 cm dapat digunakan sebagai pelindung pantai yang aman terhadap geser.

Kata kunci : batu pelindung, gelombang, stabilitas geser,

Abstract : *The increasing of the population in an area will require increasingly large residential area. On the other side, the area of land that can be used as a resident is difficult to obtain. This is a reason for creating residential areas by reclaiming coastal areas. Building in the coastal area will be exposed to ocean waves which cannot be determined. The sea wave has energy that can cause damage to the structure of the building. For this reason, it is necessary to build a breakwater structure so that the energy of the ocean waves that come becomes smaller. In addition to holding back the waves of sea water, the dikes also resist lateral soil pressure due to residential areas. The analysis carried out was to determine the weight of the protective stone required by the Hudson method and calculate the stability of the shear. The results of the analysis show that a concrete block measuring 42 cm x 42 cm x 42 cm can be used as a protective beach that is safe against shear.*

Keyword : *protective stone, waves, shear stability*

Latar Belakang

Jumlah penduduk di suatu daerah yang semakin bertambah akan membutuhkan daerah hunian yang semakin luas pula. Di sisi lain, luas tanah yang dapat dijadikan pemukiman semakin sulit diperoleh. Hal ini

menjadi suatu alasan untuk menciptakan daerah hunian dengan mereklamasi daerah pantai. Suatu bangunan yang berada di daerah pantai akan terkena gelombang laut yang tidak dapat ditentukan besarnya.

Gelombang air laut ini memiliki energi yang dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan tersebut. Untuk itu perlu dibangun bangunan pemecah gelombang agar energi gelombang laut yang datang menjadi lebih kecil. Selain menahan gelombang air laut, tanggul tersebut juga menahan tekanan tanah lateral akibat adanya pemukiman.

Pada lokasi penelitian eksisting, dipasang tanggul yang dibentuk dari karung pasir dan batu kosong. Namun tanggul pemecah gelombang tersebut telah rusak karena gelombang laut, Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tanggul eksisting dan merencanakan tanggul pemecah gelombang yang dapat menahan gelombang air laut dan tidak mengganggu pemukiman yang rencananya akan didirikan di tanah reklamasi tersebut.

Pemecah Gelombang

Bangunan pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pantai dari gelombang laut. Pemecah gelombang ini harus diperhitungkan terhadap gaya horisontal akibat gelombang laut dan gaya vertikal akibat berat struktur. Gelombang air laut yang datang akan disalurkan melalui dinding pemecah gelombang atau melalui celah-celahnya sehingga energi gelombang akan berkurang dan hilang.

Pemecah gelombang dapat dibentuk dengan menyusun batu-batu besar secara vertikal dan sisi miring sehingga berbentuk tanggul.

Dalam merencanakan pemecah gelombang, sering dijumpai kesulitan dalam memperoleh batu dengan ukuran yang sama. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuatlah batu buatan yang dirancang sedemikian rupa dan dapat saling mengikat sehingga kuat dalam menahan energi gelombang. Tipe yang telah dikembangkan adalah *tetrapods*, *hexapods*, *tribars*, *modified cubes*, dan *dolos*.

Perencanaan pemecah gelombang harus memperhitungkan tinggi gelombang yang datang, bentuk pemecah gelombang, dan berat pemecah gelombang yang diperlukan. Untuk hal tersebut, dapat digunakan rumus Hudson

$$W_a = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (S_r - 1)^3 \times \cot \theta}$$

$$W_s = \frac{W_a}{15} \quad \text{sampai} \quad \frac{W_a}{10}$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

Dimana:

W_a = berat batu pelindung

W_s = berat batu lapis kedua

γ_r = berat jenis batu pelindung

γ_a = berat jenis air laut

H = tinggi gelombang

θ = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

K_D = koefisien stabilitas

S_r = specific gravity

Tabel 1. Koefisien stabilitas

No.	Jenis Pelindung	Konstruksi Tengah		Konstruksi Ujung		Slope Cot θ
		<i>Breaking</i>	<i>Non Breaking</i>	<i>Breaking</i>	<i>Non Breaking</i>	
1	Batu Quarry					
	- Bulat	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5-3
	- Kasar bersudut	3.5	4.0	2.9	3.2	1.5

				2.5 2.0	2.8 2.3	2.0 3.0
2	Kubus Beton	6.8	7.8	--	5	1.5-3
3	Tetrapod dan Quadripod	7.2	8.3	5.9 5.5	6.6 6.1	1.5 2.0
4	Hexapod	8.2	9.5	5.0	7.0	1.5-3
5	Tribar	9.0	10.4	8.3 7.8 7.0	9.0 8.5 7.7	1.5 2.0 3.0
6	Dolos	22.0	25.0	15.0 13.5	16.5 19.0	2.0 3.0
Catatan : tebal lapis lindung minimum terdiri dari dua kali ukuran batu.						

Sumber: SPM (1984)

Gelombang Air Laut

Umumnya gelombang air laut ditimbulkan karena angin, meskipun dapat pula ditimbulkan karena adanya gerakan kapal, letusan gunung di dasar laut, tsunami, dan lainnya. Faktor-faktor yang menentukan tinggi gelombang adalah:

- Kecepatan angin
- Lamanya angin
- Fetch*, yaitu jarak sepanjang permukaan angin meniup dalam satu arah

$$T = \sqrt{\frac{2 \times \pi \times L}{g}}$$

$$L = \frac{T^2}{2 \times \pi}$$

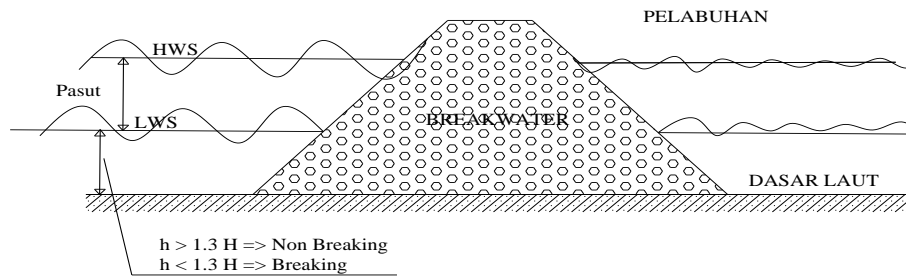
Dimana:

- L = panjang gelombang
T = waktu
G = gaya gravitasi

Tabel 2. Hubungan antara kecepatan angin dengan tinggi gelombang

Kecepatan gelombang rata-rata		Tinggi gelombang signifikan	Waktu gelombang signifikan	Kecepatan gelombang signifikan	<i>Fetch</i> minimum
(Knot)	(m/det)	(m)	(det)	(m/det)	(km)
10	5,10	1,22	5,50	8,58	129
20	10,20	2,44	7,30	11,39	240
30	15,30	5,79	12,50	19,50	1017
40	20,40	14,33	18,00	28,00	2590
50	25,50	16,77	21,00	32,76	2775

Sumber: Soedjono Kramadibrata (1985)

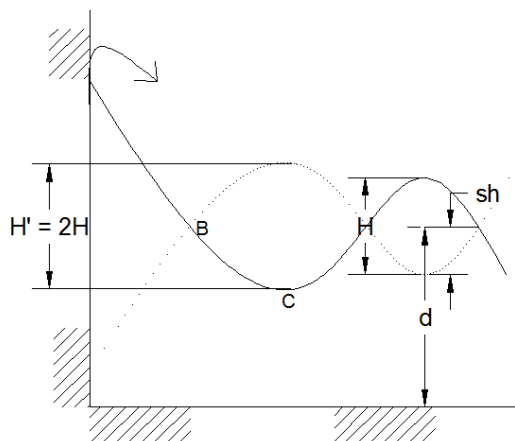


Gambar 1. Gelombang air laut pecah dan tidak pecah

Sumber: Departemen of The Army Waterways Experiment Station Corps of Engineers Coastal Engineering Research Centre

Gelombang pecah terjadi jika kedalaman air laut kurang dari 1,3 H (tinggi gelombang) yang diukur dari *Low Water Spring* (LWS), sedangkan gelombang tidak pecah terjadi jika kedalaman air laut lebih dari 1,3 H.

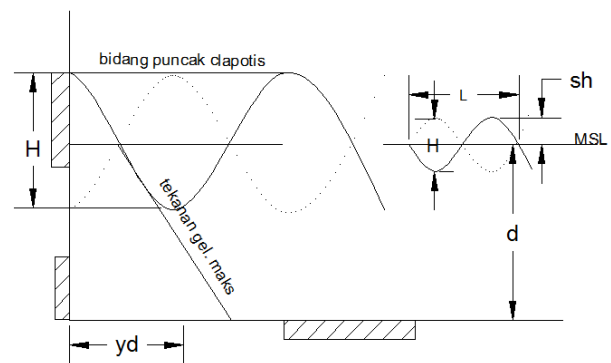
Gelombang yang membentur dinding pemecah gelombang vertikal atau sejenis akan mengalami hambatan, sehingga terjadi gelombang refraksi yang terbentuk seperti gambar di bawah ini. Partikel air yang menyentuh titik A akan naik turun setinggi dua kali tinggi gelombang asal (H). Pada titik B yang terletak antara lembah C dan puncak benturan, partikel air bergerak maju mundur terhadap dinding A. Sedangkan pada titik selanjutnya, partikel air tersebut naik dengan kemiringan yang berbeda-beda.



Gambar 2. Benturan gelombang pada dinding vertikal

Gelombang pecah yang terjadi akibat gelombang membentur dinding vertikal ini disebut *clapotis* dapat dilihat pada gambar di bawah ini dan mempunyai sifat garis osilasi gelombang naik setinggi:

$$S_h = \frac{\pi x H^2}{L} \times \coth \frac{2 x \pi x d}{L}$$



Gambar 3. Tekanan oleh gelombang pecah

Berdasarkan rumus Sainflou dapat dihitung tekanan yang bekerja pada dinding, momen guling (M) terhadap bidang dasar dinding ataupun jarak antara bidang kerja gaya resultan (R) terhadap bidang dasar dinding (Y).

$$R_{maks} = \frac{1}{2} x (d + sh + H) x \left(\gamma x d + \frac{\gamma x H}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} - \frac{\gamma x d^2}{2} \right)$$

$$M_{maks} = \frac{1}{6} x (d + sh + H)^2 x \left(\gamma x d + \frac{\gamma x H}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} - \frac{\gamma x d^3}{6} \right)$$

Dimana:

R_{maks} = Tekanan maksimum akibat gelombang datang

M_{maks} = Momen maksimum akibat gelombang datang

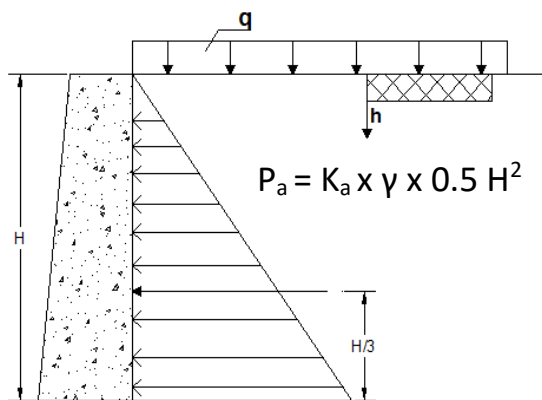
L = Panjang gelombang

γ = berat jenis air laut

d = Kedalaman air

s_h = Jarak antara bidang landas rotasi terhadap bidang permukaan

Tekanan Tanah Lateral



Gambar 4. Distribusi tekanan tanah lateral

Tekanan tanah lateral aktif :

$$p_a = K_a x \gamma x h$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$P_{a1} = 0.5 x H^2 x \gamma x K_a$$

Tekanan tanah lateral aktif akibat beban merata diatas tanah urug:

$$P_{a2} = q x H x K_a$$

Tekanan tanah lateral pasif :

$$p_p = K_p x \gamma x h$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$P_p = 0.5 x H^2 x \gamma x K_p$$

Tekanan hidrostatik pasif :

$$P_{p1} = 0.5 x H^2 x \gamma_w$$

Dimana:

q = beban merata

K_a = koefisien tekanan tanah lateral aktif

γ = berat volume tanah

γ_w = gaya gravitasi

h = kedalaman yang ditinjau

H = tinggi dinding

ϕ = sudut gesek dalam tanah

p_a = tekanan tanah aktif pada kedalaman h dari permukaan

P_{a1} = tekanan tanah aktif total untuk dinding setinggi H

P_{a2} = tekanan tanah aktif total akibat beban merata diatas tanah urug untuk dinding setinggi H

p_p = tekanan tanah pasif pada kedalaman h dari permukaan

K_p = koefisien tekanan tanah lateral pasif

P_p = tekanan tanah pasif total untuk dinding setinggi H

P_{p1} = tekanan hidrostatik pasif total untuk dinding setinggi H

Beban Bekerja Pada Badan Tanggul Setelah Reklamasi

Beban merupakan salah satu gaya yang akan dipikul oleh semua struktur bangunan. Adapun jenis-jenis beban yang bekerja pada bangunan struktur antara lain:

1. Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri komponen termasuk bagian-bagian atau kelengkapan yang melekat pada bangunan tersebut digolongkan sebagai beban mati. Perhitungan beban mati dapat dihitung dengan menggunakan pembebanan sendiri berdasarkan nilai-nilai satuan beratnya.

2. Beban hidup

Beban hidup terdiri dari beban yang tidak menetap baik dari segi posisi, intensitas maupun rentang waktunya, seperti tekanan air, material timbunan, tekanan tanah aktif dan pasif. Menurut RSNI-T-02-2005 tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,6 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja.

$$q = 0,6 \times \gamma_b$$

Dimana:

q = beban tambahan

γ_b = berat volume tanah

3. Tekanan air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

4. Tekanan angkat (*uplift*)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air (pilar jembatan) dan lain-lain atau muka air tanah yang tinggi, maka akan terjadi adanya

tekanan hidrostatik yang mengurangi besarnya angka keamanan (SF). (Sumber : Suryolelono, 1994)

$$U = B \times h \times \gamma_w$$

$$M_u = U \times (\text{jarak lengan yang ditinjau})$$

Dimana:

h = tinggi permukaan air dari pondasi

γ_w = berat volume air

B = lebar pondasi

5. Gaya gempa

Faktor-faktor beban akibat gempa yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan-bangunan pengairan diberikan dalam bentuk peta yang diterbitkan oleh DPMA dalam tahun 1981 "Peta Zona Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa". Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi tanggul dan juga ditentukan oleh koefisien gempa. Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a_d = n \times (a_c \times z)^m$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

Dimana:

a_d = percepatan gempa rencana (cm/dt²)

m = koefisien untuk jenis tanah

a_c = percepatan kejut dasar (cm/dt²)

E = koefisien gempa

g = percepatan gravitasi (9.81 m/dt²)

Z = faktor yang bergantung kepada letak geografis

Stabilitas Terhadap Geser

Gaya terhadap tanah selain menimbulkan terjadinya momen, juga menimbulkan gaya dorong sehingga tanggul akan bergeser. Bila tanggul dalam keadaan stabil, maka gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang ($\Sigma F = 0$ dan $\Sigma M = 0$). Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara dasar bangunan tanggul dengan dasar pondasi. Faktor aman terhadap pergeseran dasar pondasi minimum, diambil 1,5. Bergesernya bangunan tanggul disebabkan karena gaya horisontal lebih besar dari gaya-gaya vertikal. Untuk kontrol terhadap bahaya geser digunakan rumus :

(Sumber : Suyitno HP, 1994)

$$SF = f \times \frac{\Sigma(V)}{\Sigma(H)}$$

Dimana:

$\Sigma (V)$ = keseluruhan gaya vertikal (kN)

$\Sigma (H)$ = keseluruhan gaya horisontal (kN)

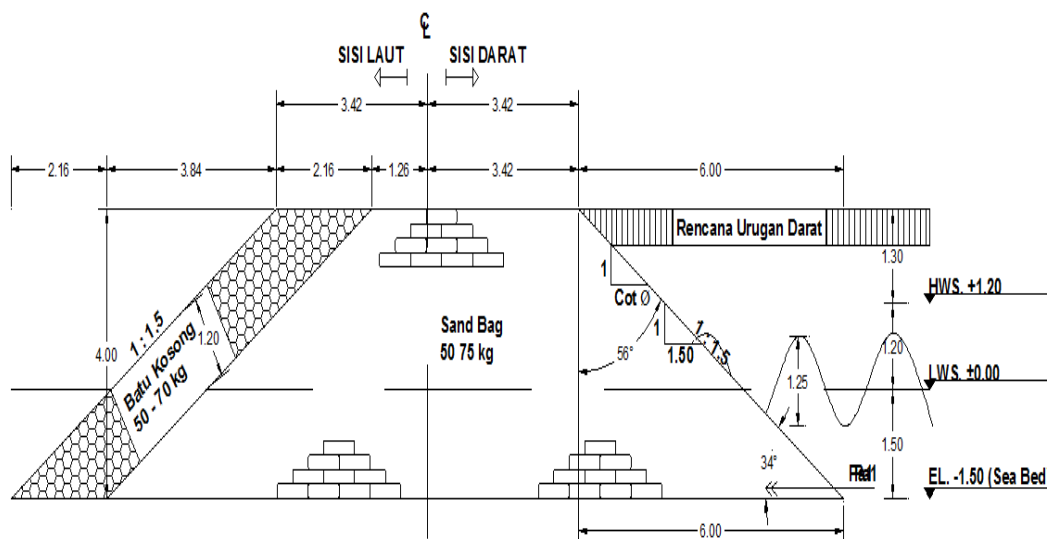
F = koefisien gesekan dengan tanah pondasi

SF = faktor keamanan

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan merencanakan tanggul batu pelindung terlebih dahulu. Kemudian stabilitas tanggul tersebut dianalisis terhadap geser setelah adanya pengurukan untuk reklamasi. Gaya-gaya yang berpengaruh terhadap pergeseran tanggul adalah gaya akibat gelombang, gaya tekanan tanah aktif, tekanan hidrostatik pasif, gaya *uplift*, gaya akibat berat sendiri, dan gaya gempa.

Berat Batu Pelindung Eksisting



Gambar 5. Potongan melintang tanggul batu pelindung eksisting

Tabel 3. Data tanggul pemecahan gelombang eksisting

Tinggi (m)	Lapisan 1	Lapisan 2
4	Karungan pasir Material : Pasir kerikil BJ = 1,7 t/m ³	Batu Kosong BJ = 2,1 t/m ³

Dalam perhitungan berat batu pelindung ini, apabila W_a aktual lebih besar dari W_a teoritis, maka batu pelindung tersebut dianggap dapat menahan gelombang. Dan sebaliknya, jika W_a aktual lebih kecil dari W_a teoritis, maka batu pelindung tersebut dianggap tidak dapat menahan gelombang.

Sisi darat (sisi reklamasi):

$$\begin{aligned} \gamma_r \text{ sandbag} &= 1,7 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_a \text{ (air laut)} &= 1,024 \text{ t/m}^3 \\ H \text{ (tinggi gelombang)} &= 1,25 \text{ meter} \\ \text{Pasut} &= 1,2 \text{ meter} \\ \cot \theta &= 1,5 \\ K_D \text{ (koefisien stabilitas)} &= 5,7 \end{aligned}$$

Perhitungan W_a teoritis

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{1,7}{1,024} = 1,66$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$W_a = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (S_r - 1)^3 \times \cot \theta} = \frac{1,7 \times 1,25^3}{5,7 \times (1,66 - 1)^3 \times 1,5} = 1,35 \text{ ton} = 1350 \text{ kg}$$

W_a aktual = 50 - 75 kg (W_a yang terpasang sekarang)

W_a teoritis > W_a aktual \rightarrow sandbag tidak kuat menahan gelombang pada sisi darat (sisi reklamasi) sehingga terseret gelombang.

Sisi laut:

$$\begin{aligned} \gamma_r \text{ batu kosong} &= 2,1 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_a \text{ (air laut)} &= 1,024 \text{ t/m}^3 \\ H \text{ (tinggi gelombang)} &= 0,5 \text{ meter} \\ \text{Pasut} &= 1,2 \text{ meter} \\ h &= 1,5 \text{ meter (kondisi Non-breaking)} \\ \cot \theta &= 1,5 \\ K_D \text{ (koefisien stabilitas)} &= 4 \end{aligned}$$

W_a teoritis

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{2,1}{1,024} = 2,05$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$W_a = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (S_r - 1)^3 \times \cot \theta} = \frac{2,1 \times 0,5^3}{4 \times (2,05 - 1)^3 \times 1,5} = 0,038 \text{ ton} = 38 \text{ kg}$$

W_a aktual = 50 - 75 kg (W_a yang terpasang sekarang)

W_a aktual > W_a teoritis \rightarrow batu kosong kuat menahan gelombang pada daerah sisi laut.

Tabel 4. Analisis berat batu pelindung

Tinggi (m)	Sisi Darat		Sisi Laut		Kesimpulan	
	Wa Teoritis (kg)	Wa Aktual (kg)	Wa Teoritis (kg)	Wa Aktual (kg)	Sisi Darat	Sisi Laut
4	1350	50 - 75	38	50 - 75	Wa Teoritis > Wa Aktual Karung pasir yang terpasang tidak kuat menahan gelombang sehingga banyak karung pasir yang terseret oleh gelombang.	Wa Aktual > Wa Teoritis Batu kosong yang terpasang kuat menahan gelombang.

Berat Batu Pelindung Rencana

Analisis ini diperhitungkan untuk mengetahui berat batu pelindung yang

diperlukan untuk menahan tinggi gelombang sebesar 1,25 meter. Direncanakan batu pelindung diganti dengan blok beton.

Sisi laut:

$$\begin{aligned} \gamma_r \text{ beton} &= 2,4 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_a \text{ (air laut)} &= 1,024 \text{ t/m}^3 \\ H \text{ (tinggi gelombang)} &= 1,25 \text{ meter} \\ \text{Pasut} &= 1,2 \text{ meter} \\ h &= 1,5 \text{ meter (kondisi} \\ &\quad \text{breaking)} \\ \cot \theta &= 1,5 \\ K_D \text{ (koefisien stabilitas)} &= 6,8 \end{aligned}$$

Wa teoritis

$$Sr = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{2,4}{1,024} = 2,34$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$Wa = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (Sr-1)^3 \times \cot \theta} = \frac{2,4 \times 1,25^3}{6,8 \times (2,34-1)^3 \times 1,5} = 0,19 \text{ ton} = 190 \text{ kg}$$

Ukuran kubus beton yang diperlukan adalah:

Berat kubus beton (Wa) = Volume x Bj beton

$$0,19 \text{ ton} = a^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$a^3 = \frac{0,19 \text{ ton}}{2,4 \text{ t/m}^3}$$

Tekanan akibat gaya gelombang adalah:

$$\begin{aligned} R_{maks} &= \frac{1}{2} \times (d + sh + H) \times \left(\gamma \times d + \frac{\gamma \times H}{\cosh\left(\frac{2\pi x d}{L}\right)} \right) - \frac{\gamma \times d^2}{2} \\ &= \frac{1}{2} \times (1,5 + 0,75 + 1,25) \times \left(1,024 \times 1,5 + \frac{1,024 \times 1,25}{1,0181} \right) - \frac{1,024 \times 1,5^2}{2} \\ &= 3,736 \text{ ton} = 37,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{maks} &= \frac{1}{6} \times (d + sh + H)^2 \times \left(\gamma \times d + \frac{\gamma \times H}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \right) - \frac{\gamma \times d^3}{6} \\ &= \frac{1}{6} \times (1,5 + 0,75 + 1,25)^2 \times \left(1,024 \times 1,5 + \frac{1,024 \times 1,25}{1,0181} \right) - \frac{1,024 \times 1,5^3}{6} \\ &= 4,526 \text{ ton} = 45,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya yang Bekerja Sebelum Reklamasi

Gaya yang bekerja sebelum reklamasi adalah:

1. Tekanan hidrostatik pasif

$$a = 0,42 \text{ m}$$

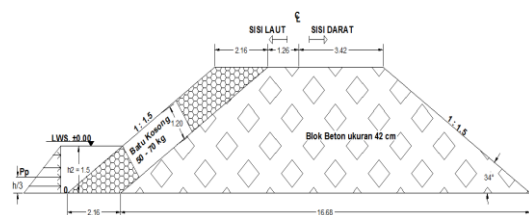
Maka direncanakan kubus beton dengan ukuran 42 cm x 42 cm x 42 cm sebagai pemecah gelombang.

Perhitungan panjang gelombang dilakukan dengan menentukan waktu gelombang dengan cara interpolasi berdasarkan tabel 2. Diperoleh panjang gelombang (T) sebesar 5,54 detik.

$$\begin{aligned} L &= \frac{T^2 \times g}{2 \times \pi} \\ &= \frac{5,54^2 \times 9,81}{2 \times \pi} \\ &= 47,91 \approx 50 \text{ mtr} \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan akibat gaya gelombang dilakukan dengan menentukan jarak antara bidang landas rotasi terhadap bidang permukaan.

$$\begin{aligned} s_h &= \frac{\pi \times H^2}{L} \times \coth \frac{2 \times \pi \times d}{L} \\ &= \frac{\pi \times 1,5^2}{50} \times \coth \frac{2 \times \pi \times 1,5}{50} = 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 6. Tekanan hidrostatik pasif pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

Tekanan hidrostatik pasif yaitu gaya tekan air atau gaya hidrostatik merupakan gaya horisontal akibat air dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan.

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 \times \left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \\ &= \tan^2 \times \left(45^\circ + \frac{20}{2}\right) \\ &= 2,04 \end{aligned}$$

Setelah koefisien tekanan hidrostatik pasif (K_p) diketahui, maka diperoleh nilai tekanan pasif (P_p) dan momen terhadap titik o per m'.

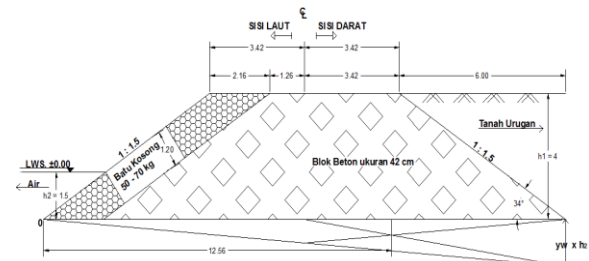
$$\begin{aligned} P_p &= 0,5 \times \gamma_w \times h_2^2 \\ &= 0,5 \times 9,8 \times 1,5^2 \\ &= 11,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen yang bekerja pada tekanan hidrostatik pasif dengan titik tangkap gaya air, yaitu $h/3$ dari tinggi seabed sampai ke LWS.

$$\begin{aligned} M_p &= P_p \times \frac{1}{3} \times h_2 \\ &= 11,03 \times \frac{1}{3} \times 1,5 \\ &= 5,52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Gaya uplift

Pada struktur bangunan yang berada di bawah muka air, maka akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang akan mengurangi keamanan struktur tersebut.

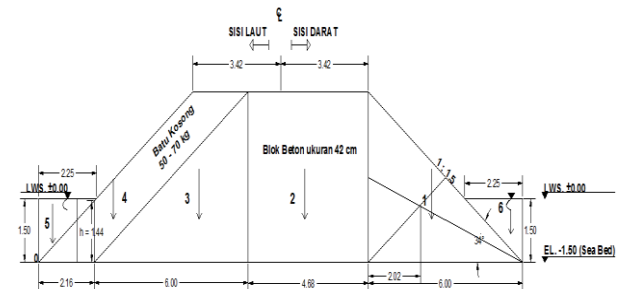


Gambar7. Gaya uplift di bawah batu pelindung rencana sebelum reklamasi

$$\begin{aligned} U &= 0,5 \times B \times h_2 \times \gamma_w \\ &= 0,5 \times 18,84 \times 1,5 \times 9,81 \\ &= 138,62 \text{ kN} \\ M_u &= U \times \frac{2}{3} \times B \\ &= 138,62 \times \frac{2}{3} \times 18,84 \\ &= 1741,07 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Gaya akibat berat sendiri

Berat bangunan dihitung berdasarkan bahan yang dipakai dalam pembangunan tanggul tersebut. Berat volume kubus beton yaitu 24 kN/m^3 dan berat volume batu kosong sebesar 21 kN/m^3 dan ditinjau terhadap titik 0 per m'.



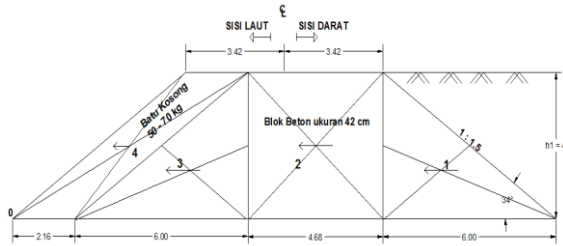
Gambar 8. Gaya akibat berat sendiri pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

Tabel 5. Berat sendiri tanggul batu pelindung rencana sebelum reklamasi

No.	Berat Sendiri (kN)	Jarak ke 0 (m)	Momen ke 0 (kNm)
1	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	14,84	$288 \times 14,84 = 4273,92$
2	$4,68 \times 4 \times 24 = 449,28$	10,59	4757,88
3	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	6,16	1774,08
4	$2,61 \times 1,44 \times 21 = 65,32$	1,08	70,55
5	$0,5 \times 1,5 \times 2,25 \times 9,81 = 16,55$	0,75	12,41
6	$0,5 \times 1,5 \times 2,25 \times 9,81 = 16,55$	18,09	299,38
	$\Sigma W = 1123,70 \text{ kN}$		$\Sigma Mw = 11188,22 \text{ kN}$

Gaya gempa

Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi tanggul dan juga ditentukan oleh koefisien gempa.



Gambar 9. Gaya akibat gempa pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

$n = 1,56$ (karena tanah terendam air laut sehingga terjadi endapan antara lempung, lanau, pasir dan kerikil. Jenis tanah ini adalah tanah aluvium.

$m = 0,89$

$a_c = 113 \text{ cm/dt}^2$ (untuk periode ulang 50 tahun)

$g = 981 \text{ cm/dt}^2$

$z = 1$

$ad = n \times (a_c \times z)^m$
 $= 1,56 \times (113 \times 1)^{0,89}$
 $= 104,80 \text{ cm/dt}^2$

$E = \frac{ad}{g} = \frac{104,80}{981} = 0,11$

Gaya gempa yang terjadi ada 4 bagian, yaitu:

$G_p = \text{berat sendiri} \times 1 \text{ mtr} \times E$

$G_{p1} = 288 \times 1 \times 0,11 = 31,68 \text{ kN}$

$G_{p2} = 449,28 \times 1 \times 0,11 = 49,42 \text{ kN}$

$G_{p3} = 288 \times 1 \times 0,11 = 31,68 \text{ kN}$

$G_{p4} = 65,32 \times 1 \times 0,11 = 7,19 \text{ kN}$

$\Sigma G_p = 119,97 \text{ kN}$

Momen gempa:

$M_{Gp} = G_p \times \text{lengan momen}$

$M_{Gp1} = 31,68 \times 4/3 = 42,24 \text{ kNm}$

$M_{Gp2} = 49,42 \times 4/2 = 98,84 \text{ kNm}$

$M_{Gp3} = 31,68 \times 4/3 = 42,24 \text{ kNm}$

$M_{Gp4} = 7,19 \times 4/2 = 14,38 \text{ kNm}$

$\Sigma M_{Gp} = 197,70 \text{ kNm}$

Rekapitulasi Gaya Sebelum Reklamasi

Tabel 6. Rekapitulasi gaya dan momen pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

No.	Gaya	Gaya / Resultan (kN)			Momen (kNm)	
		Kode	H	V	Kode	M
1	Tekanan akibat gelombang datang	ΣR_{maks}	37,36		ΣM_{maks}	45,26
2	Tekanan pasif	ΣP_p	11,03		ΣM_p	5,52
3	Tekanan <i>uplift</i>	ΣU		138,62	ΣM_u	1741,07
4	Berat sendiri	ΣW		1123,70	ΣM_w	11188,22
5	Tekanan gempa	ΣG_p	119,97		ΣM_{Gp}	197,70

Cek Stabilitas terhadap Geser Sebelum Reklamasi

$\Sigma V = \Sigma W + (-) \Sigma U$

$= 1123,70 + (-) 138,62$

$= 986,08 \text{ kN}$

$\Sigma H = \Sigma R_{maks} + (-) \Sigma P_p + \Sigma G_p$

$= 37,36 + (-) 11,03 + 119,97$

$= 146,30 \text{ kNm}$

$S_f = f \times \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} \geq 1,5$ (faktor aman disyaratkan)

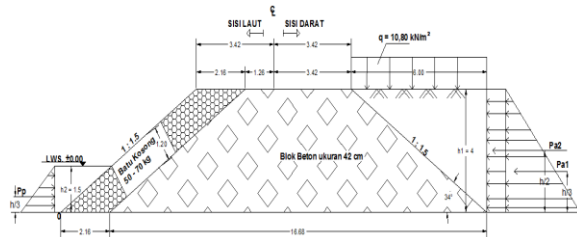
$S_f = 0,3 \times \frac{986,08}{146,30} \geq 1,5$

$= 2,02 \geq 1,5$ (aman)

Gaya yang Bekerja Setelah Reklamasi

Gaya yang bekerja setelah reklamasi adalah:

1. Tekanan hidrostatik pasif dan tekanan tanah aktif



Gambar 10. Tekanan hidrostatik pasif pada batu pelindung rencana setelah reklamasi

Tanah urug direncanakan tanah granular dan tidak berkohesif.

$$C = 0$$

$$\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\alpha = 34^\circ$$

$$\beta = 0$$

$\Phi = 20^\circ$ (diambil yang terkecil berdasarkan koefisien tekanan tanah aktif & pasif komponen horisontal) sumber PEDC, 1984 " Mektan 2 ", Bandung.

$$\delta = \frac{2}{3} \times \Phi = \frac{2}{3} \times 20 = 13,33^\circ$$

Menurut RSNI T-02-2005, tanah di belakang tanggul mendapatkan beban tambahan beban lalu lintas yang bekerja. Besar beban tambahan ini setara dengan tanah setebal 0,6 m yang bekerja secara merata.

$$q = \text{tebal}_{\text{tanah}} \times \gamma_b = 0,6 \times 18 = 10,80 \text{ kN/m}^2$$

$$K_a = \text{tg}^2 \times \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \text{tg}^2 \times \left(45^\circ - \frac{20}{2} \right) = 0,49$$

Setelah koefisien tekanan tanah aktif (K_a) diketahui, maka dengan menggunakan rumus (2.20 & 2.21) didapatkan nilai tekanan aktif (P_{a1}) dan tekanan tanah akibat beban merata diatas tanah urug

(P_{a2}), yang ditinjau terhadap titik 0 per m'.

$$\begin{aligned} P_{a1} &= 0,5 \times \gamma_b \times h_1^2 \times K_a \\ &= 0,5 \times 18 \times 4^2 \times 0,49 = 70,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a2} &= q \times h_1 \times K_a \\ &= 10,8 \times 4 \times 0,49 \\ &= 21,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{a1} &= P_{a1} \times \frac{1}{3} \times h_1 \\ &= 70,56 \times \frac{1}{3} \times 4 \\ &= 94,08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{a2} &= P_{a2} \times \frac{1}{2} \times h_1 \\ &= 21,17 \times \frac{1}{2} \times 4 \\ &= 42,34 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tekanan hidrostatik pasif yaitu gaya tekan air atau gaya hidrostatik merupakan gaya horisontal akibat air dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan.

$$\begin{aligned} K_p &= \text{tg}^2 \times \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \text{tg}^2 \times \left(45^\circ + \frac{20}{2} \right) = 2,04 \end{aligned}$$

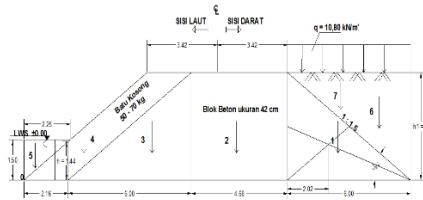
$$\begin{aligned} P_p &= 0,5 \times \gamma_w \times h_2^2 \\ &= 0,5 \times 9,8 \times 1,5^2 \\ &= 11,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen yang bekerja pada tekanan hidrostatik pasif dengan titik tangkap gaya air, yaitu $h/3$ dari tinggi seabed sampai ke LWS.

$$\begin{aligned} M_p &= P_p \times \frac{1}{3} \times h_2 \\ &= 11,03 \times \frac{1}{3} \times 1,5 \\ &= 5,52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Gaya akibat berat sendiri

Berat bangunan dihitung berdasarkan bahan yang dipakai dalam pembangunan tanggul tersebut. Berat volume kubus beton yaitu 24 kN/m³ dan berat volume batu kosong sebesar 21 kN/m³.



Gambar 11. Gaya akibat berat sendiri pada batu pelindung rencana setelah reklamasi

Tabel 7. Gaya dan momen akibat berat sendiri pada batu pelindung rencana setelah reklamasi

No.	Berat Sendiri (kN)	Jarak ke O (m)	Momen ke O (kNm)
1	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	14,84	$288 \times 14,84 = 4273,92$
2	$4,68 \times 4 \times 24 = 449,28$	10,59	4757,88
3	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	6,16	1774,08
4	$2,61 \times 1,44 \times 21 = 65,32$	1,08	70,55
5	$0,5 \times 1,5 \times 2,25 \times 9,81 = 16,55$	0,75	12,41
6	$0,5 \times 6 \times 4 \times 18 = 216$	16,84	3637,44
7	$10,80 \times 6 = 64,80$	16,84	1091,23
	$\Sigma W = 1387,95 \text{ kN}$		$\Sigma M_w = 13843,43 \text{ kN}$

Rekapitulasi Gaya Setelah Reklamasi

Tabel 8. Rekapitulasi gaya dan momen pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

No.	Gaya yang Mempengaruhi	Gaya / Resultan (kN)			Momen (kNm)	
		Kode	H	V	Kode	M
1	Tekanan aktif	ΣPa_1	70,56		ΣMa_1	94,08
2	Tekanan aktif akibat beban merata	ΣPa_2	21,17		ΣMa_2	42,34
3	Tekanan pasif	ΣPp	11,03		ΣMp	5,52
4	Tekanan <i>uplift</i>	ΣU		138,62	ΣMu	1741,07
5	Berat sendiri	ΣW		1387,95	ΣMw	13843,43
6	Tekanan gempa	ΣGp	119,97		ΣMGp	197,7

Cek Stabilitas terhadap Geser Setelah Reklamasi

$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= \Sigma W + (-)\Sigma U \\
 &= 1387,95 + (-)138,62 \\
 &= 1249,33 \text{ kN} \\
 \Sigma H &= \Sigma Pa_1 + \Sigma Pa_2 + (-)\Sigma Pp + \Sigma Gp \\
 &= 70,56 + 21,17 + (-)11,03 + 119,97 \\
 &= 200,67 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sf &= f \times \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} \geq 1,5 \text{ (faktor aman disyaratkan)} \\
 &= 0,3 \times \frac{1249,33}{200,67} \geq 1,5 \\
 &= 1,86 \geq 1,5 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

Kesimpulan

Beberapa simpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian adalah:

1. Kerusakan yang terjadi pada tanggul batu pelindung eksisting adalah karena batu pelindung tidak mampu menahan gelombang air laut.
2. Batu pelindung dapat diganti dengan blok beton berukuran 42 cm x 42 cm x 42 cm.
3. Stabilitas geser batu pelindung blok beton sebelum dan setelah reklamasi lebih dari 1,5 sehingga dapat dinyatakan aman.

Daftar Pustaka

- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Departemen of The Army Waterways Experiment Station Corps of Engineers Coastal Engineering Research Centre. 1984. *Shore Protection Manual Fourth Edition*. US Government Printing Office : Washington DC.
- Ferry Fatnanta, Widi Agoes Pratikto, Haryo Dwito Armono, dan Wahyudi Citrosiswoyo, *Karakteristik Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir Tipe Tenggelam*, MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 14, NO. 2, NOVEMBER 2010: 143-149.
- Jack M. Manik dan M. Djen Marasabessy, *Tenggelamnya Jakarta Dalam Hubungannya Dengan Konstruksi Bangunan Beban Megacity*, MAKARA, SAINS, VOL. 14, NO. 1, APRIL 2010: 69 – 74.
- Kramadibrata, Soedjono. 1985. *Perencanaan Pelabuhan Edisi Kedua*. Ganeca Excact Bandung : Bandung.
- Peraturan Pemerintah RI No. 69 Tahun 2001 Tanggal 17 Oktober 2001 Tentang Kepelabuhan.

Triatmodjo, Bambang. 1996. *Pelabuhan*. Beta Offset : Yogyakarta.